



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Pengukuran Olah Gerak Ponton Bentuk Hexagon Dengan Penambahan *Heaving Plate* Berbentuk Segi Empat Berlubang Pada Gelombang Reguler Menggunakan Mikrokontroler Berbasis *Wireless*

Batara Srijaya Ratu Siahaan¹⁾, Eko Sasmito Hadi¹⁾, Muhammad Iqbal¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

e-mail :batarasrijaya@rocketmail.com, ekosasmitohadi@gmail.com, m_iqbal@live.undip.ac.id

Seiring dengan berkembangnya teknologi menyebabkan kebutuhan akan energi terbarukan pun semakin meningkat. Energi gelombang laut merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi tinggi dikarenakan ketersediaan melimpah dan kawasan potensial yang tidak terbatas. *Wave energy converter* merupakan sebuah sistem yang dapat menangkap energi gelombang yang selanjutnya dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Ponton dapat digunakan sebagai alat untuk menghasilkan energi listrik yang didapat dari hasil konversi energi gelombang laut. Oleh karenanya diperlukan penelitian tentang hidrodinamika ponton yang ditambahkan variasi *heaving plate*, variasi tinggi sarat dan juga variasi gelombang. Prosedur yang diterapkan dengan menyusun sebuah rangkaian *wireless*, dimana terdapat Arduino sebagai mikrokontroler, sensor HS-SR04 alat untuk menentukan jarak *heaving*, sensor MPU untuk mengukur *pitching* dan *rolling*, *load cell* dapat mendeteksi nilai beban yang dialami ponton dan XBee yang akan mengirim sinyal melalui Arduino dan PC. Nilai yang didapat setelah melakukan eksperimen terhadap ponton yang memiliki *heaving plate* persegi dan variasi luas dan jumlah dari *heaving plate* tersebut diantaranya *pitching* dengan nilai tertinggi sebesar 12° , *rolling* dengan nilai tertinggi sebesar 4° , dan *heaving* memiliki nilai tertinggi 31mm, serta menghasilkan beban senilai 104.57 gram.

Kata Kunci : Ponton, *Heaving plate*, Gelombang, *Pitching*, *Rolling*, *Heaving*, load

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya teknologi menyebabkan kebutuhan akan energi terbarukan pun semakin meningkat. Energi gelombang laut merupakan jenis energi terbarukan dengan potensi tinggi dikarenakan ketersediaan melimpah dan kawasan potensial yang tidak terbatas. *Wave energy converter* merupakan sebuah sistem yang dapat menangkap energi gelombang dan energi gelombang tersebut dapat dikonversi menjadi energi listrik, Energi yang dihasilkan sangat bergantung pada gerakan dari ponton itu sendiri. Ada 2 gerakan yang bisa dialami oleh ponton yaitu gerakan *rotation* dan *translation*, gerakan ini terjadi karena adanya hantaman yang terjadi pada

permukaan gelombang. Untuk menghitung gerakan ponton tersebut perlu diadakannya sebuah pengukuran.

Ponton yang diuji pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler berbasis *wireless* dengan bentuk ponton hexagon dan juga memiliki muatan (*solid*).model yang digunakan memiliki skala 1:10 dari ukuran sebenarnya. Dari hasil diperoleh dapat ditarik kesimpulan bahwa pergeseran yang terbesar untuk nilai *pitching* dan *rolling* terdapat di gelombang 20 cm yang memiliki periode 5 detik.[1] Akan tetapi penelitian ini hanya berpusat pada alat yang dipakai pada pengujian tersebut, dan juga pada referensi yang lain pemasangan *heaving plate* pada suatu struktur

memberikan dampak yang cukup besar pada nilai dari gaya yang tedapat pada ponton yang selanjutnya gaya ini akan disalurkan, dan juga penerapan *heaving plate* menambah nilai dari *add mass* [2].

Di Universitas Diponegoro terdapat fasilitas untuk menguji olah gerak berupa *Towing Tank* yang merupakan sebuah fasilitas yang dimiliki oleh Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan, sistem yang digunakan menggunakan *wavemakers* yang dapat membangkitkan gelombang dan juga dilengkapi dengan teknologi mikrokontroler yang menggunakan sistem *wireless*.

Keuntungan dari teknologi *wireless* ini salah satunya adalah menggunakan biaya yang relatif lebih sedikit akan tetapi memiliki hasil yang berakurasi tinggi [3]. Pada benda apung dapat terjadi enam gerakan yaitu gerakan *Six Degree of Freedom* (DOF), Gerakan tersebut dapat dibagi menjadi 2, yaitu gerakan rotasi dan translasi. Gerakan yang termasuk dalam *seakeeping* adalah 2 gerakan rotasi yaitu *rolling*, *pitching* dan 1 gerakan translasi yaitu *heaving*

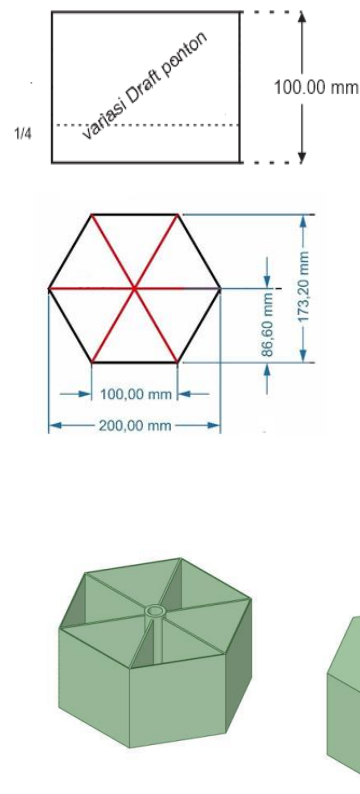
Penelitian yang membahas tentang teknologi *heaving plate* ini sudah banyak dibahas, salah satunya Sudhakar telah membuat penelitian tentang dampak penambah *heave plate* terhadap nilai olah gerak yang akan dihasilkan oleh ponton. Hasil penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan semakin tinggi nilai rasio diameter dapat meminimalkan RAO *heaving* sebesar 19% untuk rasio 1.3 menghasilkan 24% untuk rasio 1.5 dan untuk rasio diameter yang direkomendasikan adalah 20% hingga 30% dari ukuran diameter spar untuk mendapatkan nilai surge dan pitch yang jauh lebih baik dalam hal penambahan massa. [4]

Li juga telah melakukan penelitian dan menerbitkan hasil bahwa nilai dari koefisien gesek pada pelat dengan berbagai ukuran rasio lubang tetap identik pada $KC^{1/4} \cdot 1.0$ [5].

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

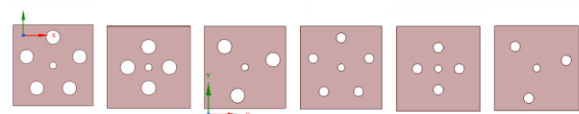
Pada penelitian ini objek yang akan digunakan ialah ponton hexagon yang berbahan *acrylic*, dan pada bagian dalam ponton diberikan sekat-sekat yang digunakan untuk mengisi muatan, dengan ukuran dan dimensi yang dapat kita lihat bersama pada gambar berikut :



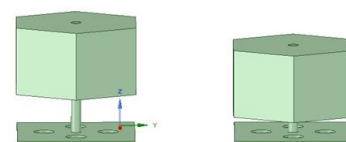
Gambar 1. Ukuran dan model ponton



Gambar 2. model spar



Gambar 3. model heave plate



Gambar 4. model ponton lengkap

Alat-alat yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

1. MPU-6050, dapat mengukur sudut kemiringan yang akan menentukan nilai *Rolling* dan *Pitching*. [6].
2. HC-SR04, sebagai sebuah alat yang dapat menentukan jarak antara sensor dan ponton yang menentukan nilai heaving [7].
3. Load Cell, sebuah alat yang dapat mendeteksi nilai beban dari suatu benda. [8].
4. HX711, merupakan alat yang dapat mengirim hasil nilai *load cell* ke arduino [9].
5. Arduino yang digunakan sebagai mikrokontroler [10].
6. Xbee , sebagai pengirim dan penerima yang menggunakan sistem *wireless* [11].

Berikut adalah parameter yang telah ditetapkan sebagai variasi terhadap ponton :

1. Parameter tetap : Ponton berbentuk hexagon
2. Parameter berubah :
 - a. Spar yang digunakan memiliki panjang : 133 mm dan 167 mm
 - b. Pada bagian dalam ponton akan diisi muatan sebesar : kosong dan $\frac{1}{4}$ tinggi ponton
 - c. gelombang yang akan di hasilkan memiliki 2 variasi tegangan : 15V dan 20V.
 - d. Variasi ukuran heaving plate
 1. Heave Plate 1 = dengan 3 lubang, diameter lubang = 20 mm
 2. Heave Plate 2 = dengan 4 lubang, diameter lubang = 20 mm
 3. Heave Plate 3 = dengan 5 lubang, diameter lubang = 20 mm
 4. Heave Plate 4 = dengan 3 lubang, diameter lubang = 30 mm
 5. Heave Plate 5 = dengan 4 lubang, diameter lubang = 30 mm
 6. Heave Plate 6 = dengan 5 lubang, diameter lubang = 30 mm

2.2. Perlakuan terhadap objek

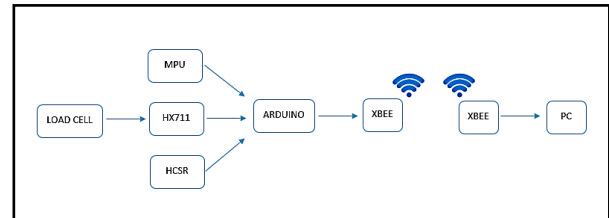
Pengujian model ponton pada penelitian ini diterapkan variasi pada ukuran dan jumlah lubang pada *heave plate*, ukuran *spar* dan jumlah muatan pada ponton, berikut rangkaiannya :

Rangkaian *wireless* adalah sebagai berikut:

1. Xbee alat *pengirim*, Xbee yang sudah dihubungkan dengan Arduino selanjutnya akan mengirimkan data yang telah diproses menuju computer.

2. Xbee sebagai alat *penerima*, Xbee yang sudah dihubungkan ke PC menerima sinyal dari Xbee *pengirim* dan data dapat ditampilkan di PC.

Berikut ini pada Gambar 5. dapat dilihat skema dari rangkaian :



Gambar 5. Skema sistem *wireless*

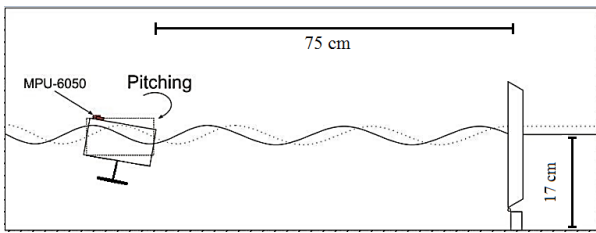
Keterangan gambar 5:

1. MPU-6050, memiliki fungsi yang dapat mengukur sudut tertentu pada saat terjadinya *pitching* dan *rolling*.
2. HC-SR04, dapat pengukur jarak heaving.
3. HX711, sebagai sebuah alat yang dapat mengkonversikan nilai dari load cell ke arduino.
4. Load cell, memiliki kemampuan untuk dapat mengukur beban yang dihasilkan pada ponton.
5. Arduino, adalah alat mikrokontroler yang digunakan.
6. Xbee pengirim yang digunakan sebagai alat yang mentransfer data ke Xbee penerima dan selanjutnya data ini dapat didisplay di Personal Computer.
7. Xbee penerima yang digunakan sebagai alat untuk menangkap sinyal hasil data yang terkirim oleh Xbee *transmitter*.
8. Personal computer, pada pc dapat dilihat nilai yang dihasilkan

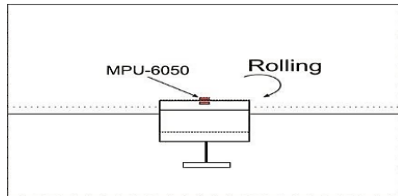
2.3. Proses Pengujian

Diawali dengan ponton yang diposisikan pada *towing tank* dan kemudian diberikan gelombang yang dibangkitkan oleh *wavemaker*, agar didapatkan hasil dari respon olah gerak dari model ponton dengan berbagai variabel. Setiap pengambilan data diterapkan pengujian dengan waktu 15 detik setiap variasi yang kemudian datanya akan diolah dan diambil nilai paling ekstrim dari setiap data.

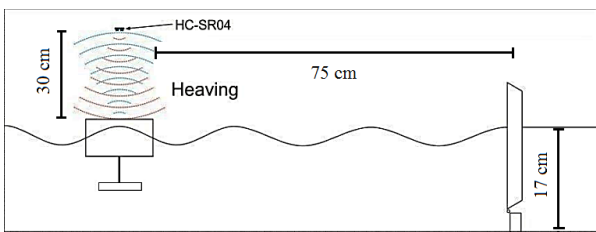
Berikut ini desain pengukuran nilai olah gerak dalam bentuk gambar :



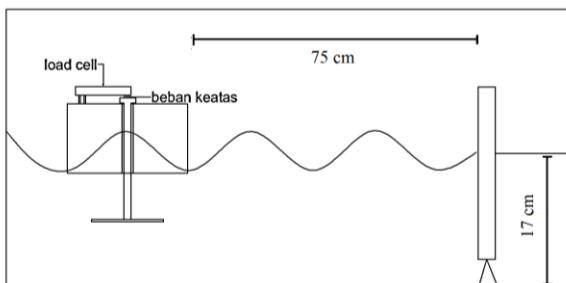
Gambar 6. Desain olah gerak *pitch*



Gambar 7. Desain olah gerak *roll*



Gambar 8. Desain olah gerak *heave*



Gambar 9. Desain pengukuran gaya angkat



Desain 10. Pengukuran olah gerak pada *towing tank*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penyusunan Alat Ukur

Kabel *jumper* digunakan untuk menghubungkan antar komponen, kecuali XBee S2C yang menggunakan sistem wireless.

3.2. Pengujian dan Kalibrasi Alat Ukur

Pengukuran kalibrasi yang dilakukan sebelum melakukan pengujian dengan mengambil nilai sample *rolling* pada mpu yang dapat dilihat pada tampilan display PC sebesar 25° dan selanjutnya diukur langsung dengan menggunakan busur derajat dan pada busur derajat juga menghasilkan nilai yang kurang lebih sama senilai 25°, dapat dikatakan hasilnya menunjukkan nilai akurasi 100%.

Selanjutnya meletakkan objek dengan jarak tertentu terhadap sensor, yang kemudian hasilnya dilihat di pc menunjukkan nilai jarak objek terdapat sensor ultrasonic sebesar 5 cm, untuk mendapatkan nilai akurasi jarak objek terhadap sensor diukur langsung menggunakan mistar yang menunjukkan nilai sebesar 5 cm, ini menunjukkan nilai akurasi 100%.

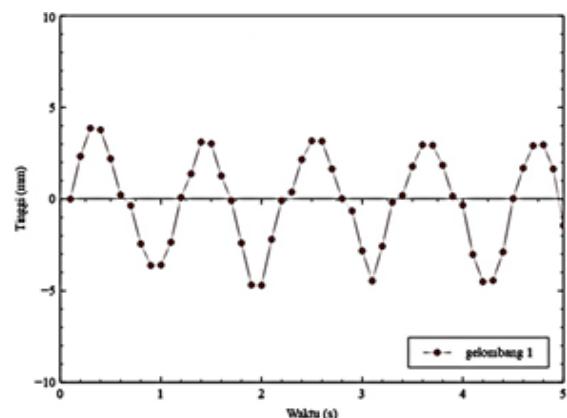
3.3. Data Hasil dan Pembahasan

1. Tinggi Gelombang Yang Akan Digunakan

Berikut adalah hasil data yang didapat setelah melakukan pengukuran:

a. Gelombang tipe 1

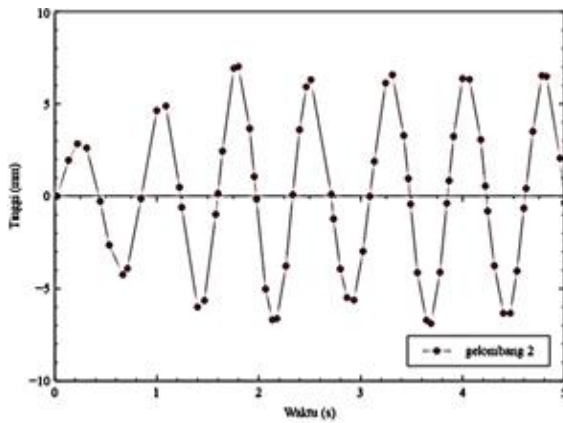
Pada sensor yang diletakkan mencatat nilai rata-rata dari tinggi gelombang 0.75cm.



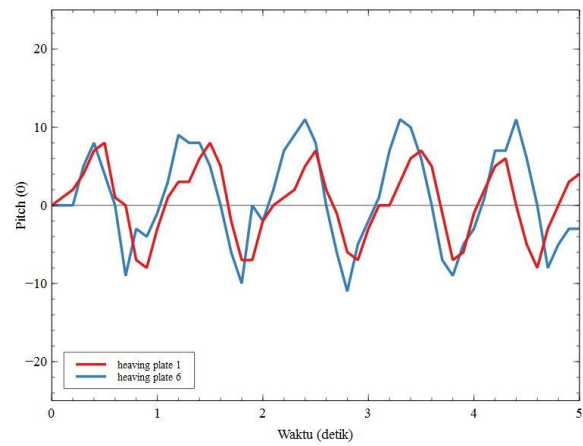
Gambar 11. Grafik gelombang tipe 1

b. Gelombang tipe 2

Sensor mencatat nilai rata-rata yang lebih besar dari gelombang pertama dengan nilai 1.25cm.



Gambar 12. Grafik gelombang tipe 2



Gambar 13. Pengukuran *Pitching* dalam grafik

2. Pengukuran Olah Gerak Ponton

Nilai yang didapat dari eksperimen dengan memanfaatkan sensor ultrasonik dan juga *load cell* menunjukkan bahwa ponton dengan muatan kosong memiliki gerakan yang cenderung kurang baik dibanding ponton bermuatan, dan juga ponton bermuatan memberikan nilai beban yang cenderung lebih tinggi.

a. Pengukuran *Pitching* pada ponton

Pengukuran nilai *pitching* dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar 13.

Tabel 1. Nilai *Pitch*

Variable dan Wave	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5	HP 6
Variabel 1 Wave 1	3°	3°	4°	3°	3°	3°
Variabel 1 Wave 2	6°	4°	7°	5°	4°	4°
Variabel 2 Wave 1	4°	5°	6°	6°	4°	4°
Variabel 2 Wave 2	8°	10°	12°	10°	11°	12°
Variabel 3 Wave 1	4°	5°	5°	4°	5°	4°
Variabel 3 Wave 2	9°	8°	8°	10°	7°	7°
Variabel 4 Wave 1	5°	4°	3°	5°	3°	4°
Variabel 4 Wave 2	11°	10°	9°	8°	11°	10°

Keterangan :

- Variabel 1 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 2 = muatan 0,25t dan spar 2
- Variabel 3 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 4 = muatan 0,25t dan spar 2
- Wave 1 = gelombang tipe 1
- Wave 2 = gelombang tipe 2

Pada Tabel 1 menunjukkan nilai perubahan *pitching* terbesar didapatkan dari variabel 4 wave 2, sedangkan untuk nilai terkecil didapatkan dari variabel 1 wave 1, dari hal diatas dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai muatan, dan tinggi spar akan menghasilkan nilai *pitching* yang lebih besar juga.

b. Pengukuran *Rolling* pada ponton

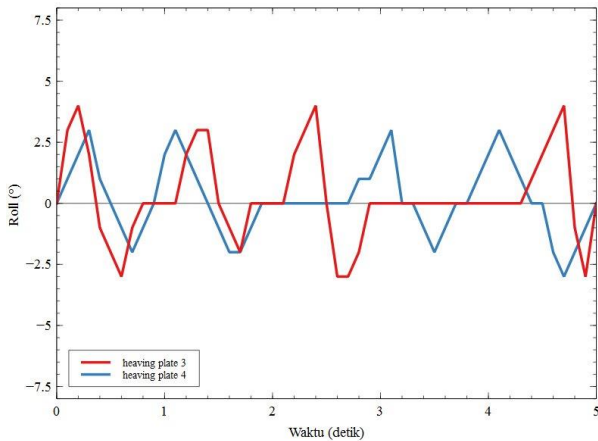
Pengukuran nilai *rolling* ditunjukkan pada tabel 2, gambar 14

Tabel 2. Nilai *Roll*

Variable dan Wave	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5	HP 6
Variabel 1 Wave 1	1°	1°	1°	1°	1°	1°
Variabel 1 Wave 2	2°	3°	2°	3°	4°	4°
Variabel 2 Wave 1	1°	2°	2°	1°	3°	3°
Variabel 2 Wave 2	2°	4°	2°	3°	4°	2°
Variabel 3 Wave 1	1°	1°	1°	1°	1°	2°
Variabel 3 Wave 2	2°	3°	3°	3°	1°	3°
Variabel 4 Wave 1	2°	2°	2°	3°	3°	3°
Variabel 4 Wave 2	4°	4°	4°	3°	3°	3°

Keterangan :

- Variabel 1 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 2 = muatan 0,25t dan spar 2
- Variabel 3 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 4 = muatan 0,25t dan spar 2
- Wave 1 = gelombang tipe 1
- Wave 2 = gelombang tipe 2



Gambar 14. Pengukuran *Rolling* dalam grafik

Dapat dilihat dari Tabel 2 dari hasil nilai *rolling* menunjukkan bahwa variasi gelombang tidak memiliki pengaruh yang jelas terhadap nilai *rolling*, akan tetapi besar muatan dan ukuran spar memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap nilai *rolling*. Respon *rolling* dipengaruhi karena terjadinya interferensi gelombang yang diakibatkan oleh interaksi antara ponton dengan gelombang, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai masalah ini.

c. Pengukuran *Heaving* dan *Load* pada Ponton

Pengukuran *heaving* ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3. Nilai *Heave*

Variable dan Wave	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5	HP 6
Variabel 1						
Wave 1	12	14	14	16	15	17
Variabel 1						
Wave 2	17	18	22	20	24	27
Variabel 2						
Wave 1	13	13	16	15	17	18
Variabel 2						
Wave 2	18	22	20	26	29	28
Variabel 3						
Wave 1	14	13	19	15	18	21
Variabel 3						
Wave 2	19	19	18	24	23	27
Variabel 4						
Wave 1	14	16	17	18	18	19
Variabel 4						
Wave 2	24	24	22	30	26	31

Keterangan :

- Variabel 1 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 2 = muatan 0.25t dan spar 2
- Variabel 3 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 4 = muatan 0,25t dan spar 2

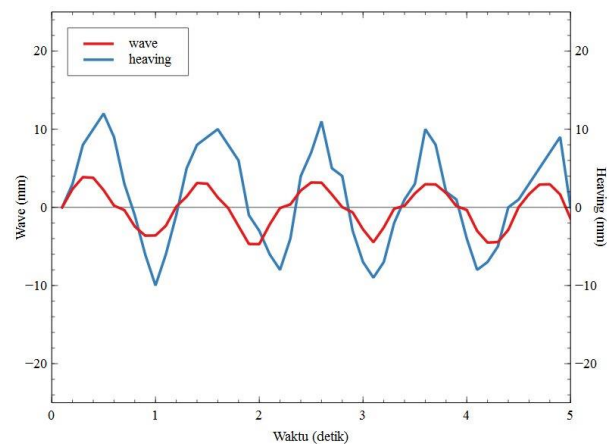
- Wave 1 = gelombang tipe 1
- Wave 2 = gelombang tipe 2

Tabel 4. Nilai *load*

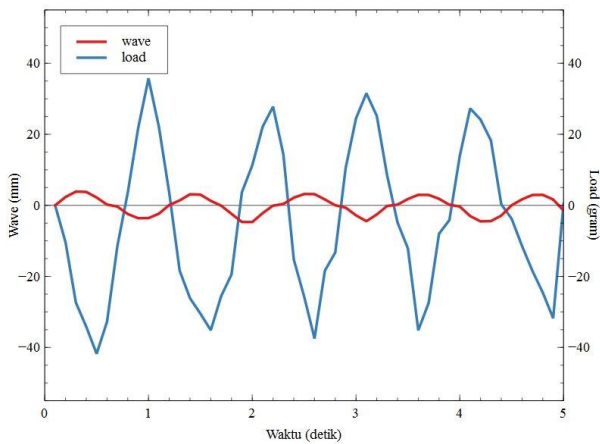
Variable dan Wave	HP 1	HP 2	HP 3	HP 4	HP 5	HP 6
Variabel 1						
Wave 1	13.74	17.29	16.72	20.07	19.24	24.61
Variabel 1						
Wave 2	16.04	19.92	15.81	32.12	28.89	40.11
Variabel 2						
Wave 1	19.44	14.74	19.95	20.83	23.18	24.56
Variabel 2						
Wave 2	44.59	52.61	65.13	72.21	95.29	98.34
Variabel 3						
Wave 1	14.68	16.16	20.52	22.43	21.41	21.46
Variabel 3						
Wave 2	21.22	20.65	28.11	34.70	24.63	34.39
Variabel 4						
Wave 1	17.70	17.88	20.39	25.22	19.69	23.94
Variabel 4						
Wave 2	52.5	69.30	76.54	99.86	99.51	104.57

Keterangan :

- Variabel 1 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 2 = muatan 0.25t dan spar 2
- Variabel 3 = muatan 0t dan spar 1
- Variabel 4 = muatan 0,25t dan spar 2
- Wave 1 = gelombang tipe 1
- Wave 2 = gelombang tipe 2

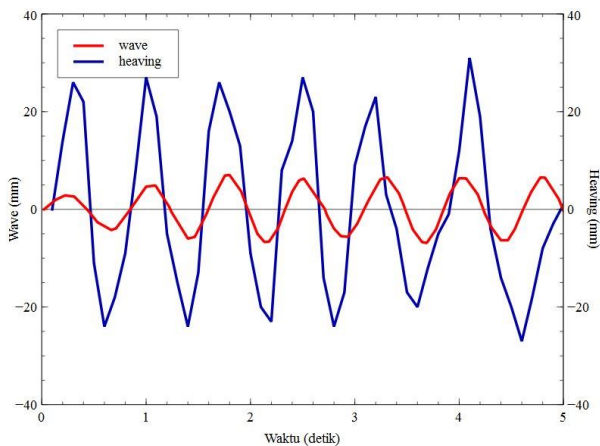


Gambar 15. Pengukuran *heave* dalam grafik

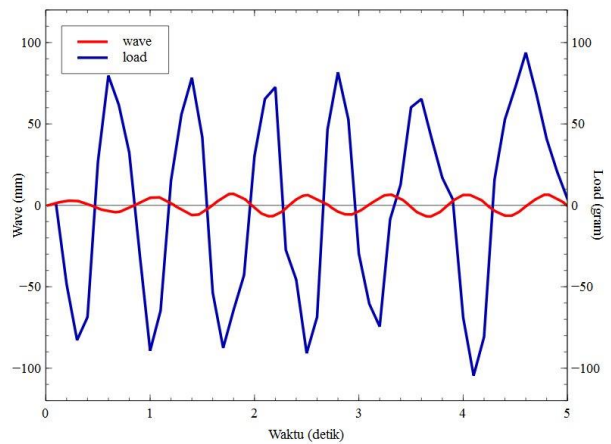


Gambar 16. Grafik hasil pengukuran *load* variabel 1 wave 1

Terlihat pada gambar 15 dan gambar 16 dapat dikatakan bahwa nilai *heaving* dan *load* memiliki nilai berlawanan yang berarti ketika gerakan *heaving* kebawah menghasilkan nilai *heaving* negatif mengakibatkan spar akan terdorong keatas menghasilkan nilai *load* positif dan berlaku juga sebaliknya. Variasi gelombang memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai *heaving* dan *load* terlihat dari respon pada gelombang 1 menghasilkan nilai rata rata lebih rendah.



Gambar 17. Grafik hasil pengukuran *heaving* variabel 4 wave 2



Gambar 18. Grafik hasil pengukuran *load* variabel 4 wave 2

Terlihat pada gambar 17 dan gambar 18 menunjukkan nilai *heaving* dan *load* memiliki nilai berlawanan yang berarti ketika gerakan *heaving* kebawah menghasilkan nilai *heaving* negatif mengakibatkan spar akan terdorong keatas menghasilkan nilai *load* positif dan berlaku juga sebaliknya. Variasi gelombang memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai *heaving* dan *load* terlihat pada nilai yang dihasilkan oleh gelombang 2 lebih tinggi.

d. Perbandingan nilai olah gerak ponton dengan *heaving plate* dan tanpa *heaving plate*.

Sebelumnya telah dilakukan pengujian dengan ponton polos (tanpa *spar* dan *heave plate*) yang ditunjukkan pada table berikut :

Tabel 5. Pengukuran *Heaving* tanpa *heaving plate*

Muatan dan Gelombang	<i>Heaving</i> (mm)
Muatan kosong Wave 1	12
Muatan kosong Wave 2	17
Bermuatan 0.25T Wave 1	12
Bermuatan 0.25T Wave 2	25

Tabel 6. Perbandingan nilai *heaving*

Muatan dan Gelombang	<i>Heaving</i> (mm) dengan HP	<i>Heaving</i> (mm) tanpa HP	Persentase (%)
Muatan kosong Wave 1	17	12	41
Muatan kosong Wave 2	27	17	58
Bermuatan 0.25T Wave 1	18	12	50
Bermuatan 0.25T Wave 2	31	25	24

Tabel 6. menunjukkan penambahan *heave plate* memiliki dampak perubahan jarak *heave* yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *heaving* pada ponton polos.

e. efek dari setiap komponen terhadap olah gerak ponton

a. Tinggi *spar*

Nilai olah gerak yang dihasilkan oleh tinggi *spar* 167 mm memiliki nilai lebih tinggi daripada nilai olah gerak yang dihasilkan oleh tinggi *spar* 133 mm

b. Lubang pada *heaving plate*

Luas lubang terkecil pada *heaving plate* memberikan nilai yang lebih besar.

c. Muatan

Ponton dengan muatan 0,25 menghasilkan nilai olah gerak yang lebih besar dibandingkan dengan ponton muatan kosong.

d. Gelombang

Gelombang 2 menghasilkan nilai keseluruhan oleh gerak yang lebih besar dibandingkan dengan gelombang 1

4. KESIMPULAN

Setelah menganalisa data yang didapatkan dari pengukuran olah gerak pada setiap variasi yang diberlakukan terhadap ponton, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Nilai tertinggi dari *heaving* dimiliki oleh ponton dengan *heave plate* 6 ,bermuatan 0.25, wave 2, *spar* 2 yang memiliki nilai 31 milimeter dan perubahan sebesar 24% dibandingkan dengan nilai *heaving* tanpa *heaving plate*.

Load dengan nilai terbesar terjadi pada *heaving plate* 6 ,dengan nilai 104.57 gram, sedangkan untuk nilai *pitching* dan *rolling* menunjukkan nilai sebesar 3° dan 4°, sedangkan untuk *pitching* dengan nilai tertinggi terdapat pada ponton *heave plate* 6 dengan muatan 0.25, wave 2, *spar* 2 yang memiliki nilai 12° dan mengalami penurunan sebesar 20% yang sebelumnya bernilai 15°, dan pada nilai *rolling* dengan nilai tertinggi terdapat pada ponton *heave plate* 2 , tanpa muatan,

wave 2, *spar* 1 yang memiliki nilai sebesar nilai 4°.

Dapat dilihat juga penambahan variasi *spar*, muatan, luas dan jumlah lubang pada *heave plate* memberikan dampak yang cukup besar sehingga nilai olah gerak yang dihasilkan pun lebih besar dibandingkan dengan tanpa *heaving plate*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Wahyu Hidayat, "Analisa Perubahan Olah Gerak Ponton Akibat Pengaruh Beban Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Wireless," *Teknik Perkapalan*, vol. 1, pp. 1–9, 2017.
- [2] E. Hadi, M. Iqbal, O. Kurdi, and K. Karnoto, "Experimental Studies of Interaction Forces Affect the Position of Vertical Plates on Oscillating Heave Plates with Cylindrical Bodies in Regular Waves," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol 9, no.1, pp. 77-84, Feb.2020.
- [3] E. Hadi, M. Iqbal, A. W, and K. Karnoto, "Experimental Measurement of Floating Structure Motion Response Based on The Low-Cost Microcontroller in Towing Tank Laboratory," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, pp. 614-624, Oct.2018.
- [4] A. Subbulakshmi, J. Jose, R. Sundaravadivelu, and R. P. Selvam, "Effect of Viscous Damping on Hydrodynamic Response of Spar with Heave Plate," *Aquat. Procedia*, vol. 4, no. Icwrcoc, pp. 508–515, 2015.
- [5] J. Li, S. Liu, M. Zhao, and B. Teng, "Experimental investigation of the hydrodynamic characteristics of heave plates using forced oscillation," *Ocean Eng.*, vol. 66, pp. 82–91, 2013.
- [6] I. Inc., "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification," *Inven. Inc. Prod. Specif.*, vol. 3.4, no. 408, pp. 1–57, 2013.
- [7] Indoware, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04," 2013.
- [8] A. Rahman and M. Nawawi, "Perbandingan Nilai Ukur Sensor Load Cell pada Alat Penyortir Buah Otomatis terhadap Timbangan Manual," vol. 5, no. 2, pp. 207–220, 2017.
- [9] F. N. Amin, "Timbangan berbasis arduino dengan output lcd dan suara,". Skripsi. FT, Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang, Semarang, pp. 1-70, 2016.
- [10] B. W. Evans, "Arduino Programming

- Notebook,” *Digit. PDF*, pp. 1–36, 2008.
- [11] Y. Yuliza, “Komunikasi Antar Robot Menggunakan RF Xbee dan Arduino Microcontroller,” *J. Telekomun. dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 53, 2017.